

05.1;07;12

## Управляемое гибридное светолазерное термораскалывание стекол

© В.К. Сысоев, Ю.Н. Булкин, В.С. Чадин,  
П.А. Вятлев, А.В. Захарченко, К.Л. Лезвинский

ФГУП „НПО им. С.А. Лавочкина“, Химки  
E-mail: sysoev@laspace.ru

Поступило в Редакцию 17 июля 2006 г.

Представлена методика управляемого гибридного сквозного светолазерного термораскалывания оксидных стекол. Данная методика управляемого термораскалывания состоит в сочетании воздействия на стекло двух пучков лазерного и полихроматического светового излучения. Излучение  $\text{CO}_2$ -лазера наносит микротрещину на поверхности стекла, а излучение мощного полихроматического Хе-излучателя развивает эту трещину на всю толщину стекла.

PACS: 42.2.-v

Применение лазерных излучений в обработке стекла [1,2] позволило создать высокоэффективные технологии: сварку труб, вытяжку световодов, полировку зеркал, получение нанопорошков и наиболее востребованную в настоящее время технологию обработки стекла, такую как управляемое лазерное термораскалывание, позволяющее разделять стеклянные пластины с нулевой шириной и высокой прочностью получаемых изделий.

Наиболее часто для управляемого термораскалывания стекол применяются излучения  $\text{CO}_2$ -лазеров. Однако излучение этого лазера проникает не глубоко в стекло ( $50\text{--}100\ \mu\text{m}$ ) и поэтому создает неглубокую микротрещину. Для ее развития насквозь стекла (толщиной более  $1\ \text{mm}$ ) требуется применение механического воздействия, что ограничивает использование данной технологии.

Одним из успешных методов обработки материалов, например сварки, является применение двухлучевых методов, сочетающих различные источники излучения [3], что возможно применить и для управляемого термораскалывания стекол.

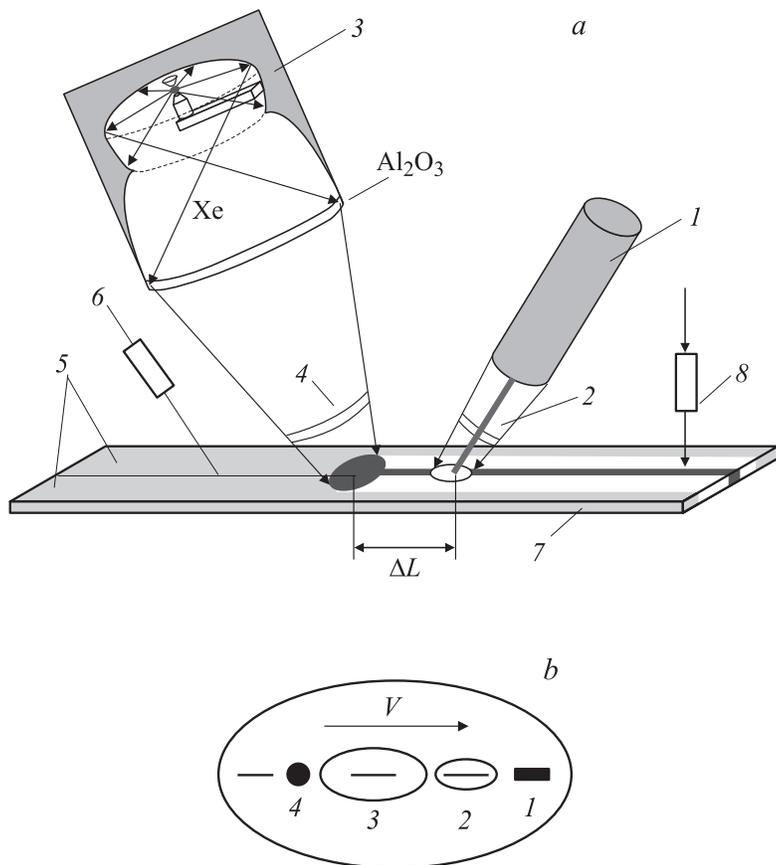
Целью данной работы является создание гибридной двухлучевой технологии сквозного термораскалывания стекол.

Суть предлагаемой методики состоит в следующем. На стекло воздействуют два вида излучений: сфокусированное в виде эллипса излучение  $\text{CO}_2$ -лазера, которое развивает первоначально имеющийся дефект в стекле в управляемую микротрещину глубиной порядка  $50\text{--}100\ \mu\text{m}$ ; затем на область, где создана эта микротрещина, воздействует сфокусированное в виде полосы излучение мощной ксеноновой лампы с сапфировым окном [4], которое производит развитие этой первоначально созданной ранее микротрещины в сквозной раскол стекла. Данная методика основана на том, что Хе-лампа высокого давления с сапфировым окном излучает в широком спектральном диапазоне, в том числе в области ИК-края поглощения оксидных стекол ( $2\text{--}5\ \mu\text{m}$ ).

С целью получения сквозного разделения стекла, его необходимо подогреть вдоль линий микротрещины непосредственно после луча  $\text{CO}_2$ -лазера. Такой подогрев стекла осуществляют потоком теплого воздуха или расфокусированным излучением второго  $\text{CO}_2$ -лазера. Это позволяет поддерживать постоянный градиент температур. Однако такой способ производит подогрев только поверхности стекла. Применение излучения полихроматического светового излучателя в виде Хе-лампы с сапфировым окном, излучающим в области до  $7\ \mu\text{m}$ , позволяет бесконтактно производить нагрев стекла по всей его толщине.

Оптическая схема данной методики управляемого термораскалывания стекла представлена на рис. 1 и состоит из  $30\ \text{W}$   $\text{CO}_2$ -лазера ЛГ 25 (1), оптической схемы, фокусирующего излучения в эллиптическое пятно на стекле (2) и полихроматического светового излучателя с мощностью до  $500\ \text{W}$  (3). В качестве полихроматического светового излучателя используется промышленная разборная металлическая охлаждаемая лампа с внутренним параболическим отражателем, фокусирующая излучение лампы в пятно диаметром  $3\text{--}5\ \text{mm}$  (SVAR) [5]. В качестве плазмообразующего газа используется ксенон. Авторы данной работы заменили в данной лампе кварцевое окно на сапфировое, что позволило увеличить мощность данного излучателя на 60% и спектральный диапазон излучения до  $7\ \mu\text{m}$ . Излучение данной лампы фокусировалось цилиндрической линзой (4) из  $\text{CaF}_2$  в полосу на стекле (5) в области, созданной излучением  $\text{CO}_2$ -лазером микротрещины.

В состав установки входит также устройство локального газового охлаждения (6), усиливающее градиент температуры в зоне светолозерного воздействия на стекле и соответственно увеличивающееся термонапряжением, развивающее термораскалывание стекла. Для



**Рис. 1.** Схема установки для управляемого гибридного светолазерного термо-раскальвания стекол (а): 1 — когерентный источник энергии —  $\text{CO}_2$ -лазер, 2 — объектив для  $\text{CO}_2$ -лазера, 3 — полихроматический источник энергии — Xe/ $\text{Al}_2\text{O}_3$ -лампа, 4 — цилиндрическая линза, 5 — раскальваемое стекло, 6 — газовая форсунка, 7 — двухкоординатный стол, 8 — алмазный скрепер. Зоны термического воздействия (b): 1 — первоначальный дефект, 2 — пятно воздействия  $\text{CO}_2$  лазера, 3 — зона воздействия Xe-излучателя, 4 — зона воздействия хладагента.

Вид излучателя	Мощность, W	Максимальная толщина сквозного термораскалывания, mm	Максимальная скорость сквозного термораскалывания при 1-mm толщине стекла, mm/s	Точность термораскалывания, $\mu\text{m}$
CO <sub>2</sub> -лазер	40	2	30	±25
Xe/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -излучатель	300	5	60	±70
*CO <sub>2</sub> -лазер	40+	10	300	±25
+*Xe/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -излучатель	300			

\* CO<sub>2</sub>-лазер в данном случае создает микротрещину 50–100  $\mu\text{m}$ .

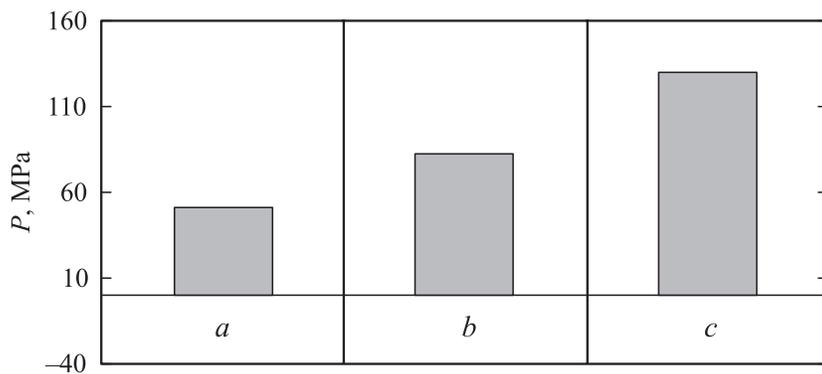
передвижения стекла использовалась двухкоординатная высокоточная система движения (7) с устройством для вакуумного присоса стекла. Для создания первоначального дефекта использовался алмазный резец на электромагните (8).

В рамках данной работы осуществлялись режимы сквозного термораскалывания боросиликатных стекол при одинаковой толщине в трех вариантах: в первом, при использовании только излучения CO<sub>2</sub>-лазера; во втором, при использовании только излучения полихроматического Xe/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-излучателя; в третьем, при совместном использовании излучения CO<sub>2</sub>-лазера и полихроматического Xe/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-излучателя.

При применении излучения 30 W CO<sub>2</sub>-лазера сквозное термораскалывание стекол толщиной 1 mm осуществлялось максимально при скорости 40 mm/s. Применение только лампового излучателя (200 W) приводило к увеличению скорости сквозного термораскалывания стекла толщиной 1 mm до 50 mm/s, и при этом геометрия края раскола стекла была достаточно ровной.

Но наиболее значительное увеличение скорости сквозного термораскалывания происходило при совместном использовании излучения как лазерного, так и полихроматических источников. Скорость сквозного термораскалывания достигала величины 300 mm/s и ограничивалась возможностью системы движения стекла.

Данное соотношение скоростей сквозного термораскалывания показано в таблице. Из таблицы видна высокая эффективность гибридного светолазерного управляемого термораскалывания стекла.



**Рис. 2.** Гистограммы прочности образцов боросиликатных стекол толщиной 1 мм, разделенных разными способами: *a* — алмазная резка; *b* — лазерное несквозное термораскальвание с последующим механическим докальванием; *c* — светолазерное сквозное термораскальвание.

Вторым, очень важным преимуществом данной методики является то, что оно позволяет производить сквозное термораскальвание стекол большой толщины (до 20 мм).

Помимо увеличения скорости сквозного термораскальвания стекла данная технология сохраняет основные преимущества лазерного термораскальвания: получение высокопрочных стеклянных изделий, отсутствие поверхностных дефектов, что показано на рис. 2, где приведены гистограммы прочности стеклянных образцов, измеренных по трехточечной системе. Кроме этого, мощное ультрафиолетовое излучение полихроматического светового источника производит очистку торцов стеклянных образцов путем испарения поверхностных загрязнений.

Таким образом, создана методика управляемого гибридного светолазерного термораскальвания стекол, позволяющая производить сквозное термораскальвание стекол с большой толщиной (более 1 мм) с высокой скоростью.

Данная методика управляемого термораскальвания может быть использована, например, при обработке краев стекол при флот-процессе.

## Список литературы

- [1] *Мачулка Г.А.* Лазерная обработка стекла. М.: Радио и связь, 1979. 136 с.
- [2] *Sysoev V.K., Zakharchenko A.V., Vyatlev P.A., Papchenko B.P.* // J. Opt. Technol. 2004. V. 71. N 4. P. 117–120.
- [3] *Alexeev G.N., Sysoev V.K., Bulkin Yu.N.* // Photon Processing in Microelectronics and Photonics IV. SPIE. 2005. V. 5713. P. 335–342.
- [4] *Рохлин Г.Н.* Разрядные источники света. М.: Энергоатомиздат, 1991. С. 449–472.
- [5] *Техническое описание установки SVAR.* Прага, 2005. С. 21.